Lehrstuhl für Experimentelle Zahnheilkunde
(Vorstand: Professor Dr. G. Siebert)
an der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Universität Würzburg
(Direktor: Professor Dr. R. Naujoks)

PLAQUE-pH-UNTERSUCHUNGEN NACH DEM VERZEHR VERSCHIEDENER NAHRUNGSMITTEL UND SÜSSIGKEITEN

Inaugural-Dissertation

verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde

vorgelegt von

Michael Dillig

aus Würzburg

Würzburg, den 7. November 1980

1981

Lehrstuhl für Experimentelle Zahnheilkunde
(Vorstand: Professor Dr. G. Siebert)
an der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Universität Würzburg
(Direktor: Professor Dr. R. Naujoks)

PLAQUE-pH-UNTERSUCHUNGEN NACH DEM VERZEHR VERSCHIEDENER NAHRUNGSMITTEL UND SÜSSIGKEITEN

Inaugural-Dissertation

verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde

vorgelegt von
Michael Dillig
aus Würzburg

Würzburg, den 7. November 1980

Referent: Professor Dr. F. Gehring

Korreferent: Professor Dr. R. Naujoks

Dekan: Professor Dr. K.-H. Wulf

Tag der mündlichen Prüfung: 29.1.1981

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität Würzburg

MEINEN ELTERN GEWIDMET

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543520_0036

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
1.	Einführung	1
1.1	Die Rolle der Plaques bei der Kariesentstehung	1
1.2	Die Ernährung und ihre Wirkung auf die Zähne	3
1.3	Der Plaque-pH als Indikator für die Azidogenität/ Kariogenität von Nahrungsmitteln und Getränken	6
2.	Material und Methodik	8
2.1	Das Probandengut	8
2.2	Richtlinien für die Probanden	8
2.3	Versuchsablauf	8
2.4	Getestete Nahrungsmittel und Süßigkeiten	13
2.5	Anmerkungen zu der Auswahl der Nahrungsmittel und Süßigkeiten	14
3.	Ergebnisse	15
3.1	Die Plaque-pH-Werte der einzelnen Probanden nach dem Verzehr der verschiedenen Testsubstrate	15
3.2	Mittelwerte und Standardabweichungen aller pH-Werte	22
3.3	Verschiedene Möglichkeiten der Auswertung der Ergebnisse bzw. der Diagramme	38
4.	Besprechung der Ergebnisse	42
5.	Zusammenfassung	52
6.	Literaturverzeichnis	54

1. EINFÜHRUNG

1.1 DIE ROLLE DER PLAQUES BEI DER KARIESENTSTEHUNG

Die Vorgänge bei der Entstehung der Zahnkaries sind heute bei weitem noch nicht vollständig geklärt, da diese Krankheit durch komplexe Ursachen hervorgerufen wird.
Sauerwein [51] spricht von einer Unzahl von Faktoren und Voraussetzungen, die das Zustandekommen von Karies bedingen.
Es gilt als sicher, daß die Karies nicht entstehen kann

a) ohne Mikroorganismen in der Mundhöhle
b) ohne Kohlenhydrate in der Nahrung
c) ohne Kontakt der Nahrung mit der Zahnoberfläche [46].

Nach einem Schema von Kröncke [37] nimmt die Zahnplaque eine zentrale Stellung ein (Abb. 1). Eine übersichtliche Darstellung der Kariesätiologie wurde von Bramstedt, Büttner, Gehring und Latsch [1] angegeben (Abb. 2).

Man geht heute davon aus, daß die Karies ein bakteriell bedingter Prozeß ist [46].
Da 1 g Plaque (Naßgewicht) rund 10^{11} Keime enthält [15], gehört sie zu den kariesbegünstigenden Faktoren, denn unter diesen Bakterienbelägen, die auf der Schmelzoberfläche haften, beginnt die Entmineralisierung der Zahnhartsubstanz [39].

Abb. 1: Kariesbegünstigende Faktoren

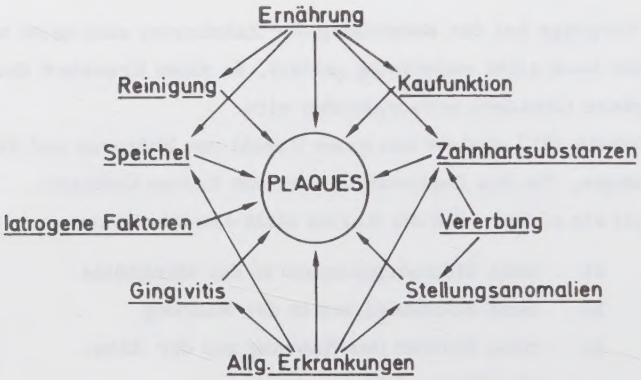
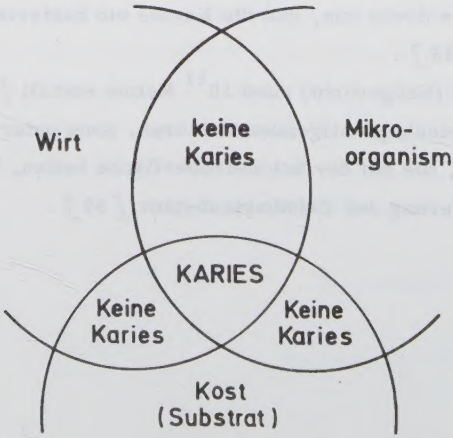


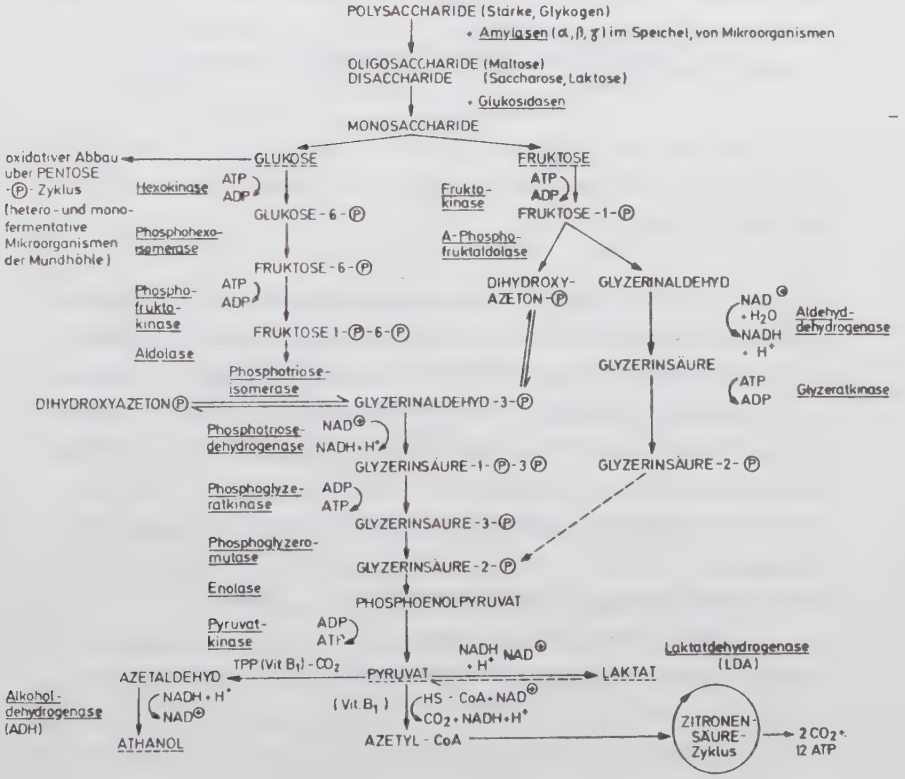
Abb. 2: Schema der Kariesätiologie



1.2 DIE ERNÄHRUNG UND IHRE WIRKUNG AUF DIE ZÄHNE

Für die Kariesentstehung sind die sauren Abbauprodukte des Kohlenhydratstoffwechsels der gesamten Plaqueflora in Form von organischen Säuren verantwortlich [15] . Einen Überblick über die von den Plaques gebildeten Säuren gibt folgende Abbildung [51] .

Abb. 3: Der Kohlenhydratabbau in den Plaques und seine Endprodukte



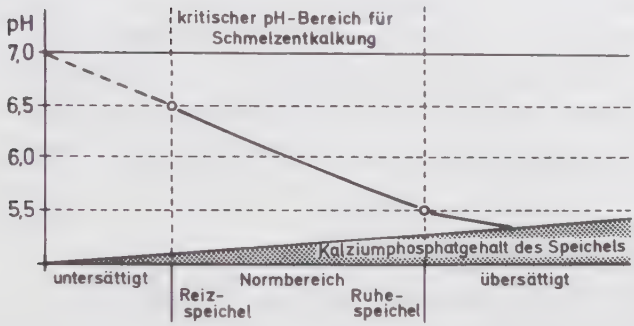
Bei starkem Konsum von Saccharose und den daraus hergestellten Süßwaren ist die Kariesfrequenz entscheidend erhöht [22] .
Aber auch andere Disaccharide (Maltose, Laktose etc.) sowie Polysaccharide (Stärke) und Monosaccharide (Glukose, Fruktose etc.) werden von den Plaquebakterien zu Säuren vergoren [27] .

Wenn die in den Plaques entstehenden Säuren aus dem Schmelz Kalziumphosphat und -karbonationen herauslösen, so sind die reparativen Möglichkeiten (Neutralisation, Verdünnung durch Speichelkarbonate und -phosphate) um so geringer, je dicker die Beläge sind und zweitens je geringer das Angebot an Phosphationen von seiten des Speichels ist. Ein saures Milieu und eine niedrige Speichelfließrate schränken diese Möglichkeiten ebenso ein [33] .

Von vielen Autoren wird der pH-Durchschnittswert der Plaques mit 7,1 angegeben unter der Voraussetzung, daß die Mundhöhle längere Zeit frei von Kohlenhydraten war [51].

Es stellt sich die Frage nach demjenigen pH-Wert, bei welchem die Schmelzentmineralisierung beginnt. Der Beginn wird durch den Kalziumphosphatgehalt des mit Bikarbonat gepufferten Speichels bestimmt. Ist der Speichel untersättigt, liegt der "kritische pH" über 6,5. Im Normbereich zwischen Reiz- und Ruhespeichel setzen die ersten Entkalkungserscheinungen zwischen pH 6,5 und 5,5 ein [6] . Im Falle einer starken Übersättigung des Speichels kann der Wert noch darunter liegen.
Diese Zusammenhänge sind in Abbildung 4 dargestellt.

Abb. 4: Korrelation zwischen dem Kalziumphosphatgehalt des Speichels und dem "kritischen pH-Wert"



Sind bakterielle Beläge auf der Schmelzoberfläche vorhanden, und kommen diese mit niedermolekularen Kohlenhydraten in Berührung, so sieht sich der Schmelz einer Säureattacke ausgesetzt, deren Dauer und Intensität von der Art und der Konzentration des Kohlenhydrates abhängig ist [8, 9, 44] .

Das Plaquewachstum in den Fissuren kann aus anatomischen Gründen nicht verhindert werden, da die Borsten der Zahnbürsten diesen Stellen nicht zugänglich sind [27] . Aus diesem Grunde würde eine Kariesprophylaxe, welche ausschließlich auf dem Boden einer exzellenten Mundhygiene stünde, nicht ausreichen, um Säureattacken an sogenannten habituell unsauberen Zonen zu vermeiden. Im Augenblick ist die Fluoridierung des Zahnschmelzes das wirksamste Mittel der Kariesprophylaxe [47] . Da Bemühungen zur Umstellung

der Ernährungsgewohnheiten der Bevölkerung auf Nahrungsmittel, die weniger niedermolekulare Kohlenhydrate enthalten, keine besonderen Erfolge gezeigt haben [47], besteht die Kariesprophylaxe aus mikrobiologischer Sicht in erster Linie darin, der Plaqueflora mit der Nahrung Saccharose-Austauschstoffe anzubieten [15].

Trotz ausbleibender Erfolge sollten weiterhin und in verstärktem Maße Aufklärungskampagnen durchgeführt werden, um "zahnschonende" Ernährungsregeln, wie sie zum Beispiel König [36] vorgeschlagen hat, mehr in das Bewußtsein der Bevölkerung zu bringen.

1.3 DER PLAQUE-pH ALS INDIKATOR FÜR DIE AZIDOGENITÄT/KARIOGENITÄT VON NAHRUNGSMITTELN UND GETRÄNKEN

Es stellt sich die Frage nach der Beurteilung der Wirkung von Nahrungsmitteln und Getränken auf den Plaque pH in der Zeit nach dem Verzehr. Um diese Frage zu beantworten, führten einige Autoren Plaque-pH-Messungen durch [54, 57, 29, 38, 41, 7, 9, 11, 12, 50, 5].
Als eine besonders elegante Methode ist diejenige zu erwähnen, welche den Plaque-pH in situ mißt [18, 42, 2, 27, 28].
Nach Ludwig und Bibby [38] läßt die unterschiedliche Säurebildung der verschiedenen Speiseformen vermuten, daß die Stoffe unterschiedlich kariogen sind.
Auch Graf und Mühlemann [20] halten den pH-Abfall in den Plaques nach dem Verzehr verschiedener Substanzen für ein Anzeichen des kariogenen Angriffes auf die Zahnoberfläche.

Die Frage, inwieweit Azidogenität und Kariogenität wirklich zusam-

menfallen, d.h., ob man mit Hilfe des pH-Wertes etwas über die tatsächlich zu erwartende Zerstörung am Schmelz voraussagen kann, wird noch zu diskutieren sein.

Aufgabe dieser Arbeit ist es, zu zeigen, daß nach dem Verzehr verschiedener Nahrungsmittel und Süßigkeiten, die vorwiegend als Zwischenmahlzeiten konsumiert werden, unterschiedliche Änderungen des Plaque-pH-Wertes auftreten.

2. MATERIAL UND METHODIK

2.1 DAS PROBANDENGUT

Die Versuche wurden an sechs (drei weiblichen und drei männlichen) Probanden im Alter zwischen zwanzig und siebenundzwanzig Jahren durchgeführt. Die Kariesaktivität und die Neigung zur Plaquebildung waren jeweils unterschiedlich. Die bis auf die Weisheitszähne vollständigen Gebisse waren saniert und wiesen eine verschiedene Zahl von Füllungen auf. Alle Probanden sind als "dental-minded" zu bezeichnen. Dementsprechend waren Gingiva und marginales Parodontium ohne klinisch erkennbaren pathologischen Befund.

2.2 RICHTLINIEN FÜR DIE PROBANDEN

Die Teilnehmer waren aufgefordert, zwei Tage vor dem Versuchstermin sämtliche Mundhygienemaßnahmen einzustellen. Ernähren sollten sie sich wie gewohnt. Zwei Stunden vor dem Experiment durfte keinerlei Nahrung mehr aufgenommen werden; der Mund war mit Wasser auszuspülen.

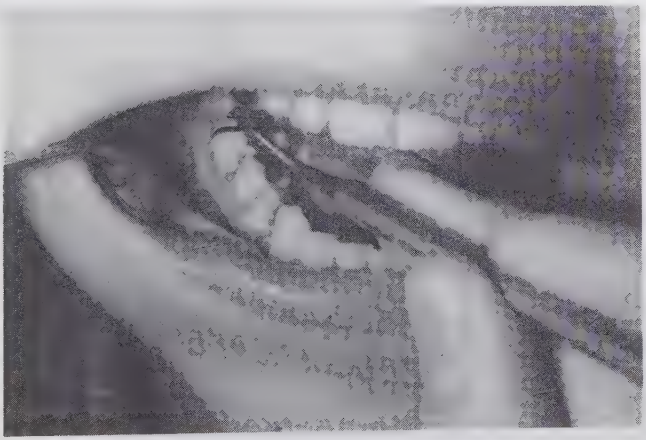
2.3 VERSUCHSABLAUF

Der erste Schritt des Versuchs bestand darin, den Probanden Plaquematerial von sämtlichen Zähnen des ersten Quadranten zu entnehmen. Zu diesem Zweck fanden feine Küretten Anwendung (Abb. 5). Besonderer Wert wurde darauf gelegt, daß die Plaqueproben von möglichst vielen verschiedenen Punkten gewonnen wurden. Das gesammelte Ma-

terial war also eine Mischung aus Plaqueanteilen aller vestibulären, lingualen bzw. palatinalen und erreichbaren interdentalen Zahnflächen des ersten Quadranten.

Während der Plaqueentnahme sorgten Watterollen im Vestibulum Oris und unter der Zunge dafür, daß der Speichel nur in geringem Ausmaß mit der Plaque in Berührung kam.

Abb. 5: Mit feinen Küretten wird Plaquematerial von der Zahnoberfläche abgetragen.



Das Sammeln von Plaquematerial eines Quadranten dauerte so lange, bis die Kavität eines scharfen Löffels glattgestrichen gefüllt war (Abb. 6). Das nahm ungefähr 30 Sekunden in Anspruch. Das Gewicht des Inhalts des scharfen Löffels betrug ungefähr 1,9 mg, was durch eine Reihe von Wägungen ermittelt wurde.
Im Anschluß daran wurde das zu untersuchende Material in ein Eppendorfgefäß mit dem Fassungsvermögen von 1 ml gegeben, in dem sich 0,2 ml destilliertes Wasser befanden, und der Inhalt 30 Sekunden lang mit Hilfe eines Rüttlers homogenisiert (Abb. 7).

Abb. 6: Die Kavität eines scharfen Löffels ist gestrichen mit Plaquematerial gefüllt.

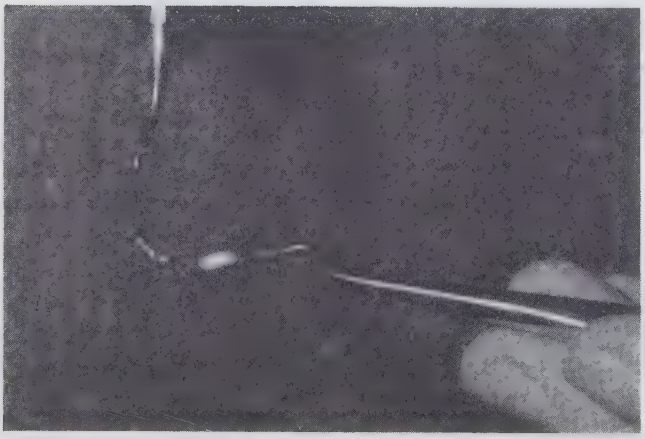
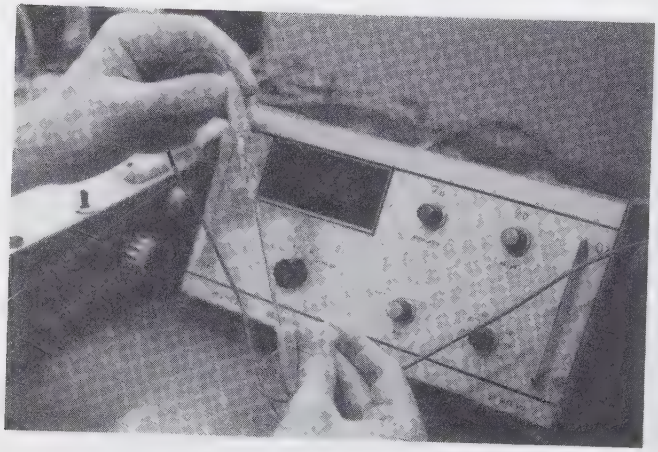


Abb. 7: Der Inhalt des Eppendorfgefäßes wird mit Hilfe des Rüttlers homogenisiert.

Mit einer Glaselektrode der Firma Ingold (405 - M 3) wurde sofort im Anschluß daran der pH-Wert der im destillierten Wasser verdünnten Plaque (Abb. 8) gemessen.
0,2 ml Wasser waren die erforderliche Mindestmenge, die es ermöglichte, mit der Glaselektrode den pH-Wert zu messen. Eine größere Verdünnung hätte eine geringere meßbare Säurerate zur Folge gehabt [45, 55, 26, 32, 53].
Nun schloß sich die Aufforderung an die Probanden an, 50 g des zu testenden Substrates über einen Zeitraum von zwei Minuten zu verzehren. Wichtig war es, den Speisebolus gleichmäßig über das ganze Gebiß zu kauen, also nicht bevorzugt auf nur einer Seite oder gar von nur einer Zahngruppe.
Zwei Minuten nach dem Ende des Kauvorganges wurden aus den

Abb. 8: Der pH-Wert wird mit einer Glaselektrode gemessen.



zweiten Quadranten ebenfalls Plaqueproben entnommen und deren pH-Wert bestimmt. Sechs Minuten, nachdem der Kauvorgang beendet war, verfuhr man mit dem dritten Quadranten ebenso, wie mit den vorangegangenen. 25 Minuten nach dem Kauen kam der vierte Quadrant an die Reihe. Die Versuche wurden unter weitgehend aseptischen Bedingungen durchgeführt. Alle Wartezeiten zwischen den Messungen verbrachten die Probanden mit geschlossenem Mund.

Jeder der sechs Probanden bekam an verschiedenen Tagen zwölf unterschiedliche Eßwaren angeboten. Die Experimente wurden im Abstand von mindestens sieben Tagen durchgeführt.

2.4 GETESTETE NAHRUNGSMITTEL UND SÜßIGKEITEN

Getestet wurden jeweils 50 g von verschiedenen Testspeisen, die sich unterteilen lassen in:

a) Süßigkeiten:

Hier sollen die Süßwaren hinsichtlich Zusammensetzung und Konsistenz nur grob beschrieben werden. Genauere Angaben, welche die Zutaten betreffen, sind dem Verfasser nicht bekannt.

A: Vollmilchschokolade mit einem Überzug aus einer harten Zuckermasse.

B: Weiche Kokosmasse mit Vollmilchschokolade überzogen.

C: Weiche Zuckermasse und klebriger Karamel mit Vollmilchschokolade überzogen.

D: Ein lockeres keksartiges Gebäck mit klebrigem Karamel in einem Überzug aus Vollmilchschokolade.

E: Erdnüsse, weiche Zuckermasse und klebriger Karamel in Vollmilchschokolade.

F: Erdnüsse mit Vollmilchschokolade, umgeben von einer harten Zuckermasse.

b) Nahrungsmittel:

Apfel (James Grieve)
Milch
Joghurt
Brötchen mit Butter und hartgekochtem Ei
Brötchen mit Butter und Bierschinken
Brötchen mit Butter und Emmentaler Käse

Es sei noch erwähnt, daß mit Milch und Joghurt Mundspülungen durchzuführen waren (ebenfalls für die Dauer von zwei Minuten). Im Gegensatz dazu mußten alle anderen Nahrungsmittel und Süßigkeiten aufgrund ihrer Konsistenz gekaut werden.

2.5 ANMERKUNGEN ZU DER AUSWAHL DER NAHRUNGSMITTEL UND SÜSSIGKEITEN

Die sechs Süßwaren unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Konsistenz und der Quantität sowie Qualität der Bestandteile. Ihnen gemeinsam ist ein sehr hoher Gehalt an Zuckern. Aus diesem Grund ist eine starke Säurebildung in den Plaques vorauszusehen. Interessant ist hier die Frage, wie groß die Unterschiede im Absinken des pH-Wertes sind.
Bei den übrigen Nahrungsmitteln handelt es sich ebenfalls um Speisen, die als Zwischenmahlzeiten in Frage kommen. Ihr im Vergleich zu den Süßigkeiten geringerer Zuckergehalt läßt eine niedrigere Azidogenität erwarten.
Auch hier sind die Unterschiede in der Säurebildung von Interesse.

3. ERGEBNISSE

3.1 DIE PLAQUE-pH-WERTE DER EINZELNEN PROBANDEN NACH DEM VERZEHR DER VERSCHIEDENEN TEST-SUBSTRATE

Die Tabellen 1 bis 12 geben die Plaque-pH-Werte der einzelnen Probanden nach einer 2minütigen Exposition der Plaques mit der Testspeise wieder. Dargestellt ist der pH-Wert vor dem Kauen, wie auch zwei, sechs und 25 Minuten nach Beendigung des Kauvorganges.

Auffallend sind die großen individuellen Unterschiede der gemessenen Ergebnisse von Proband zu Proband am Anfang des Versuchs, die sich aber in physiologischen Grenzen halten.

Bei Betrachtung der Tabellen 1 bis 12 ist zu bemerken, daß bei allen Substraten und Probanden nach zwei oder sechs Minuten in den Plaques die meiste Säure gebildet wird. Nach Ablauf von 25 Minuten ist der Säuregehalt wieder stark rückläufig. Man erhält Werte, die denen der Messung am Anfang eines jeden Experimentes sehr nahe kommen.

Tab. 1:

Plaque-pH-Werte vor, sowie 2, 6 und 25 Minuten nach dem 2minütigen Kauen von 50 g des Testsubstrates A.

Proband	vor dem Genuß (1. Quadrant)	2 Minuten (2. Quadr.)	6 Minuten (3. Quadr.)	25 Minuten (4. Quadr.)
U.	6,69	6,37	5,96	6,46
B.	7,14	6,60	6,01	6,33
A.	6,99	6,80	6,70	7,09
M.	7,23	6,69	6,79	6,96
C.	6,89	6,01	6,11	6,20
J.	6,82	6,25	6,45	6,55

Tab. 2:

Plaque-pH-Werte vor, sowie 2, 6 und 25 Minuten nach dem 2minütigen Kauen von 50 g des Testsubstrates B.

Proband	vor dem Genuß (1. Quadrant)	2 Minuten (2. Quadr.)	6 Minuten (3. Quadr.)	25 Minuten (4. Quadr.)
U.	6,62	6,55	6,04	6,34
B.	6,89	6,41	5,77	6,04
A.	7,11	6,71	6,72	7,12
M.	7,11	6,80	6,57	7,12
C.	7,03	6,20	6,45	6,51
J.	6,79	6,24	6,01	6,73

Tab. 3:

Plaque-pH-Werte vor, sowie 2, 6 und 25 Minuten nach dem 2minütigen Kauen von 50 g des Testsubstrates C.

Proband	vor dem Genuß (1. Quadrant)	2 Minuten (2.Quadr.)	6 Minuten (3. Quadr)	25 Minuten (4. Quadr.)
U.	6,63	6,46	6,56	6,61
B.	6,99	6,39	5,56	6,14
A.	7,08	6,45	6,75	6,83
M.	7,25	6,37	6,50	6,94
C.	6,86	6,07	5,81	6,65
J.	6,87	6,21	6,91	6,79

Tab. 4:

Plaque-pH-Werte vor, sowie 2, 6 und 25 Minuten nach dem 2minütigen Kauen von 50 g des Testsubstrates D.

Proband	vor dem Genuß (1. Quadrant)	2 Minuten (2.Quadr.)	6 Minuten (3.Quadr.)	25 Minuten (4. Quadr.)
U.	6,71	6,29	5,93	6,03
B.	7,01	6,95	5,95	6,88
A.	6,80	5,96	6,66	6,79
M.	6,75	6,02	6,10	6,70
C.	6,83	5,77	6,40	6,67
J.	7,07	6,11	5,29	6,89

Tab. 5:

Plaque-pH-Werte vor, sowie 2, 6 und 25 Minuten nach dem 2minütigen Kauen von 50 g des Testsubstrates E.

Proband	vor dem Genuß 1.Quadrant)	2 Minuten (2.Quadr.)	6 Minuten (3. Quadr.)	25 Minuten (4.Quadr.)
U.	6,68	6,69	5,90	6,60
B.	6,89	6,57	5,79	6,91
A.	7,06	6,91	7,10	7,27
M.	7,02	6,14	6,11	6,80
C.	7,04	6,63	6,23	6,84
J.	6,95	6,17	6,14	6,70

Tab. 6:

Plaque-pH-Werte vor, sowie 2, 6 und 25 Minuten nach dem 2minütigen Kauen von 50 g des Testsubstrates F.

Proband	vor dem Genuß (1.Quadrant)	2 Minuten (2.Quadr.)	6 Minuten (3. Quadr.)	25 Minuten (4. Quadr.)
U.	6,64	6,59	6,26	6,54
B.	6,92	6,75	6,48	6,75
A.	7,11	6,24	6,75	6,80
M.	7,15	5,32	6,80	6,81
C.	6,92	6,63	6,50	6,56
J.	6,95	6,29	6,39	6,78

Tab. 7:

Plaque-pH-Werte vor, sowie 2, 6 und 25 Minuten nach dem 2minütigen Kauen von 50 g Apfel.

Proband	vor dem Genuß (1. Quadrant)	2 Minuten (2. Quadr.)	6 Minuten (3. Quadr.)	25 Minuten (4. Quadr.)
U.	6,68	6,42	6,58	6,76
B.	7,28	6,55	6,45	6,55
A.	6,99	6,83	6,74	6,91
M.	7,19	6,15	6,78	6,89
C.	6,61	6,46	6,24	6,53
J.	6,85	5,82	6,45	6,99

Tab. 8:

Plaque-pH-Werte vor, sowie 2, 6 und 25 Minuten nach 2minütiger Mundspülung mit 50 g Milch.

Proband	vor dem Genuß (1. Quadrant)	2 Minuten (2. Quadr.)	6 Minuten (3. Quadr.)	25 Minuten (4. Quadr.)
U.	6,74	6,64	6,63	6,78
B.	7,22	6,93	6,79	6,84
A.	7,15	7,09	7,32	7,25
M.	7,15	7,13	7,11	7,19
C.	6,84	6,53	6,37	6,62
J.	7,11	6,76	6,51	6,83

Tab. 9:

Plaque-pH-Werte vor, sowie 2, 6 und 25 Minuten nach 2minütiger Mundspülung mit 50 g Joghurt.

Proband	vor dem Genuß (1. Quadrant)	2 Minuten (2. Quadr.)	6 Minuten (3. Quadr.)	25 Minuten (4. Quadr.)
U.	6,65	6,57	6,64	6,80
B.	7,15	6,77	6,57	7,15
A.	7,31	7,20	7,15	7,18
M.	7,33	6,81	7,34	7,35
C.	6,85	6,48	6,32	6,58
J.	6,71	6,20	5,80	6,54

Tab. 10:

Plaque-pH-Werte vor, sowie 2, 6 und 25 Minuten nach dem 2minütigen Kauen von 50 g Eibrötchen.

Proband	vor dem Genuß (1. Quadrant)	2 Minuten (2. Quadr.)	6 Minuten (3. Quadr.)	25 Minuten (4. Quadr.)
U.	6,72	6,62	6,63	6,68
B.	7,15	6,92	6,60	6,71
A.	7,45	6,47	7,01	6,93
M.	7,30	6,97	6,91	7,11
C.	6,86	6,66	6,25	6,86
J.	7,19	6,51	6,27	6,73

Tab. 11:

Plaque-pH-Werte vor, sowie 2, 6 und 25 Minuten nach dem 2minütigen Kauen von 50 g Wurstbrötchen.

Proband	vor dem Genuß (1. Quadrant)	2 Minuten (2. Quadr.)	6 Minuten (3. Quadr.)	25 Minuten (4. Quadr.)
U.	6,95	6,87	6,91	6,95
B.	7,35	7,21	6,66	7,03
A.	7,01	6,97	6,63	6,90
M.	7,29	6,96	6,88	7,17
C.	6,63	6,18	6,13	6,43
J.	6,88	6,19	5,92	6,50

Tab. 12:

Plaque-pH-Werte vor, sowie 2,6 und 25 Minuten nach dem 2minütigen Kauen von 50 g Käsebrötchen.

Proband	vor dem Genuß (1. Quadrant)	2 Minuten (2. Quadr.)	6 Minuten (3. Quadr.)	25 Minuten (4. Quadr.)
U.	6,89	6,60	6,44	7,03
B.	7,54	6,88	6,76	6,79
A.	7,35	6,81	6,97	7,26
M.	7,24	6,85	7,10	7,11
C.	6,69	6,38	6,91	6,99
J.	7,12	6,50	6,03	6,65

3.2 MITTELWERTE UND STANDARDABWEICHUNGEN ALLER pH-WERTE

Für einen Vergleich der Azidogenität/Kariogenität der einzelnen Eßwaren war es nötig, die unterschiedliche Säurebildung in den Plaques nach dem Verzehr übersichtlich zu demonstrieren. Um dieses zu realisieren, wurden aus den entsprechenden pH-Werten aller sechs Probanden für das jeweilige Substrat zum jeweilig gleichen Zeitpunkt die arithmetischen Mittelwerte errechnet. Die Standardabweichung von jedem Mittelwert ergab sich nach der Formel:

$$s = \sqrt{\frac{(x - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

N: Anzahl der Meßwerte
x: Meßwert
$\bar{x}$: Mittelwert

In der Tabelle 13 sind alle Mittelwerte ($\bar{x}$) des Plaque-pH von den einzelnen pH-Werten der Probanden mit Standardabweichung (s) für alle zwölf Testspeisen aufgeführt.

Die niedrigsten Werte wurden nach 2 bzw. 6 Minuten gemessen. Nach Ablauf von 25 Minuten nähern sich die pH-Werte wieder den Anfangswerten.

Die graphische Darstellung der Mittelwerte soll ermöglichen (Abb. 9 - 20), die pH-Werte der Nahrungsmittel und Süßigkeiten zu vergleichen. Dargestellt sind die Plaque-pH-Werte (Mittelwerte) in Abhängigkeit von der Zeit. Der pH-Wert der ersten Messung, also bei kohlenhydratfreier Mundhöhle, ist auf die Ordinate projiziert.
Der Wert 0 auf der Abszisse zeigt den Zeitpunkt an, an dem der Kauvorgang beendet war. Für jeden angegebenen Meßwert ist die dazugehörige Standardabweichung mit abgebildet.

Die Abbildung 9 zeigt die Säurebildung des Testsubstrates A. Schon zwei Minuten nach Beendigung des Kauvorganges ist der pH-Wert knapp unter 6,5, weitere vier Minuten später auf ungefähr 6,35 gesunken. Nach Ablauf von 25 Minuten liegt er bei 6,6.

Die Testspeise B (Abb. 10) zeigt nach zwei Minuten schon einen pH-Abfall auf ca. 6,3. Hier ist das Minimum erreicht, denn nach sechs Minuten geht der Wert schon wieder auf 6,4 zu. Am Ende des Versuchs lag der Plaque-pH einiges über 6,5.

Der Verlauf der "Kurve" ist beim Testsubstrat C (Abb. 11) ähnlich dem von Testsubstrat A. Das pH-Minimum ist nach sechs Minuten erreicht; es liegt knapp unter 6,3 (Abb. 11).

Im Diagramm der Süßigkeiten D (Abb. 12) fällt auf, daß hier der niedrigste pH-Wert aller getesteten Eßwaren erreicht wird und zwar nach sechs Minuten. Zwei Minuten nach dem Kauen ist schon ein Wert von unter 6,2 erkennbar. Trotzdem nimmt die Säure in den Plaques offensichtlich schnell ab, denn nach 25 Minuten beträgt der Plaque-pH-Wert schon wieder 6,65.

Das Testsubstrat E (Abb. 13) zeigt ebenfalls sein Minimum nach sechs Minuten. Auffallend ist hier, daß am Ende des Experimentes der Plaque-pH wieder über 6,8 liegt.

Wie bei Testspeise B ist das pH-Minimum der Süßigkeiten F (Abb. 14) mit 6,3 nach zwei Minuten erreicht. Nach dem Ablauf von sechs Minuten war der pH-Wert über 6,5.

Ein ähnlicher Verlauf findet sich bei der graphischen Darstellung der Werte, die für den Apfel ermittelt wurden (Abb. 15). Lediglich der pH-Abfall ist mit knapp 6,4 nicht so ausgeprägt. Nach 25 Minuten liegt der pH-Wert bei 6,8.

Die Milch (Abb. 16) senkt den pH-Wert unter diesen Meßbedingungen nicht unter 6,5; nach 25 Minuten ist ein Plaque-pH-Wert von 6,9 erreicht.

Das gleiche gilt für den Joghurt (Abb. 17) und das Eibrötchen (Abb. 18), jedoch liegt der Zwei-Minuten-Wert niedriger als jener der Milch.

Der Abfall des pH, der durch das Wurstbrötchen (Abb. 19) verursacht wird, nähert sich 6 Minuten nach dem Kauen dem pH 6,5. Beim Käsebrötchen (Abb. 20) erreicht der Säuregehalt der Plaques bei zwei Minuten sein Maximum, welches aber deutlich über 6,5 liegt. Am Ende des Experimentes ist ein pH-Wert von fast 7 zu messen.

Zusammenfassend läßt sich folgendes sagen: Alle Süßigkeiten und der Apfel führten dazu, daß die pH-Minima, welche auf die beschriebene Art und Weise gemessen wurden, unter 6,5 lagen.
Bei den Eßwaren verursachte lediglich das Kauen vom Wurstbrötchen (Abb. 19) einen Wert, der nahe an 6,5 herankam. Alle anderen Nicht-Süßigkeiten blieben mehr oder weniger darüber.

Das pH-Minimum wurde nach Ablauf von zwei Minuten erreicht, wenn der Verzehr von Testsubstrat B, F, Apfel und Käsebrötchen vorausgegangen war. Die anderen acht Speisen hatten den tiefsten Plaque-pH-Wert nach sechs Minuten.

Tab. 13:

Mittelwerte ($\bar{x}$) der Plaque-pH-Werte von den einzelnen Probanden mit Standardabweichung (s).

Substrat	vor dem Genuß $\bar{x}$ / s	2 Minuten $\bar{x}$ / s	6 Minuten $\bar{x}$ / s	25 Minuten $\bar{x}$ / s
A	6,96 / 0,20	6, 45 /0,30	6,34/0,36	6,60/0,33
B	6,93 / 0,20	6,49 /0,25	6,26/0,37	6,64/0,43
C	6,95 / 0,21	6,33 /0,15	6,35/0,54	6,66/0,28
D	6,86/0,15	6,18/0,41	6,06/0,47	6,66/0,32
E	6,94/0,14	6,52/0,30	6,21/0,47	6,85/0,23
F	6,95/0,18	6,30/0,52	6,53/0,21	6,71/0,13
Apfel	6,93 / 0,27	6,37/0,35	6,54/0,20	6,79/0,21
Milch	7,04 / 0,20	6,85/0,25	6,62/0,30	6,92/0,25
Joghurt	7,00/0,30	6,67/0,34	6,64/0,56	6,93/0,34
Eibrötchen	7,17/0,32	6,69/0,21	6,61/0,32	6,84/0,17
Wurst-brötchen	7,02/0,27	6,73/0,44	6,52/0,41	6,83/0,30
Käse-brötchen	7,14/0,31	6,67/0,21	6,70/0,40	6,97/0,22

Abb. 9: Plaque-pH-Werte vor, sowie 2, 6 und 25 Minuten nach dem 2minütigen Kauen von 50 g des Testsubstrates A. Dargestellt sind die Mittelwerte mit Standardabweichung von 6 Probanden.

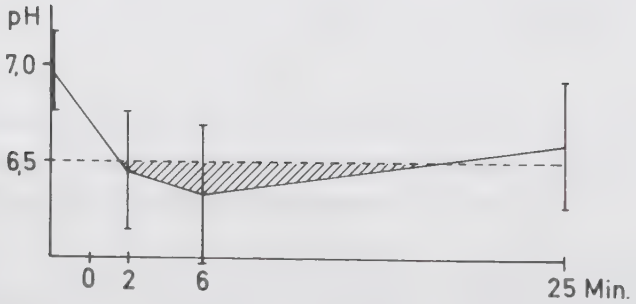


Abb. 10: Plaque-pH-Werte vor, sowie 2, 6 und 25 Minuten nach dem 2minütigen Kauen von 50 g des Testsubstrates B.
Dargestellt sind die Mittelwerte mit Standardabweichung von 6 Probanden.

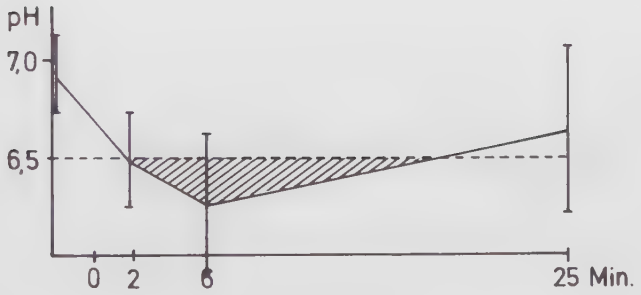


Abb. 11: Plaque-pH-Werte vor, sowie 2, 6 und 25 Minuten nach dem 2minütigen Kauen von 50 g des Testsubstrates C.
Dargestellt sind die Mittelwerte mit Standardabweichung von 6 Probanden.

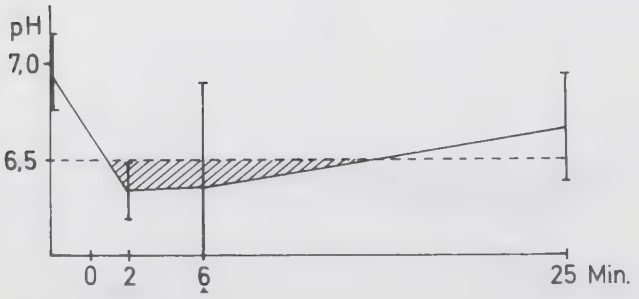


Abb. 12: Plaque-pH-Werte vor, sowie 2, 6 und 25 Minuten nach dem 2minütigen Kauen von 50 g des Testsubstrates D.
Dargestellt sind die Mittelwerte mit Standardabweichung von 6 Probanden.

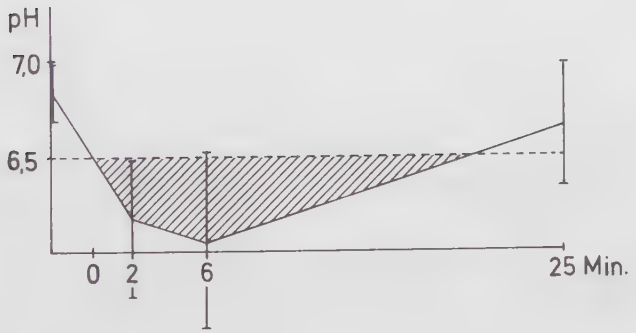


Abb. 13: Plaque-pH-Werte vor, sowie 2, 6 und 25 Minuten nach dem 2minütigen Kauen von 50 g des Testsubstrates E.
Dargestellt sind die Mittelwerte mit Standardabweichung von 6 Probanden.

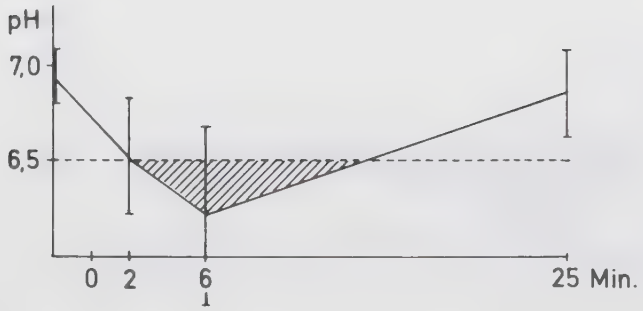


Abb. 14: Plaque-pH-Werte vor, sowie 2, 6 und 25 Minuten nach dem 2minütigen Kauen von 50 g des Testsubstrates F.
Dargestellt sind die Mittelwerte mit Standardabweichung von 6 Probanden.

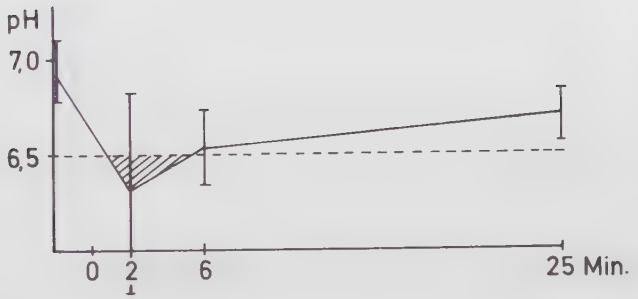


Abb. 15: Plaque-pH-Werte vor, sowie 2, 6 und 25 Minuten nach dem 2minütigen Kauen von 50 g Apfel. Dargestellt sind die Mittelwerte mit Standardabweichung von 6 Probanden.

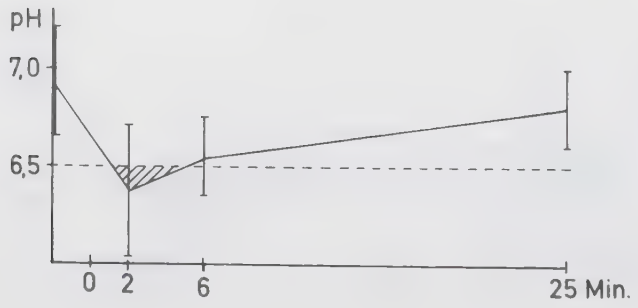


Abb. 16: Plaque-pH-Werte vor, sowie 2, 6 und 25 Minuten nach 2minütiger Mundspülung mit 50 g Milch. Dargestellt sind die Mittelwerte mit Standardabweichung von 6 Probanden.

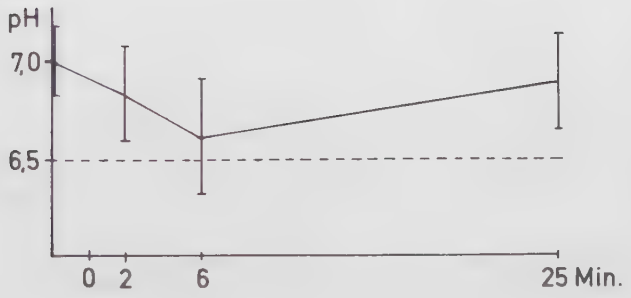


Abb. 17: Plaque-pH-Werte vor, sowie 2, 6 und 25 Minuten nach 2minütiger Mundspülung mit 50 g Joghurt. Dargestellt sind die Mittelwerte mit Standardabweichung von 6 Probanden.

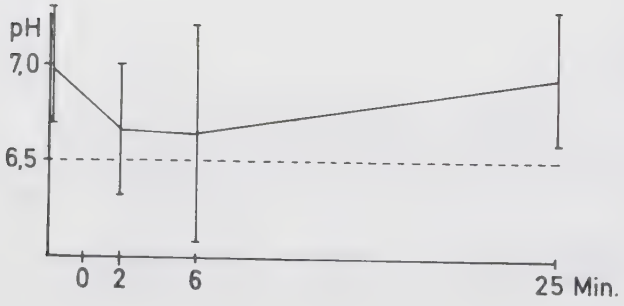


Abb. 18: Plaque-pH-Werte vor, sowie 2, 6 und 25 Minuten nach dem 2minütigen Kauen von 50 g Eibrötchen. Dargestellt sind die Mittelwerte mit Standardabweichung von 6 Probanden.

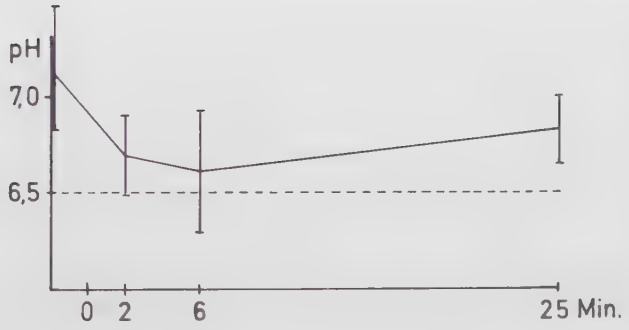


Abb. 19: Plaque-pH-Werte vor, sowie 2, 6 und 25 Minuten nach dem 2minütigen Kauen von 50 g Wurstbrötchen. Dargestellt sind die Mittelwerte mit Standardabweichung von 6 Probanden.

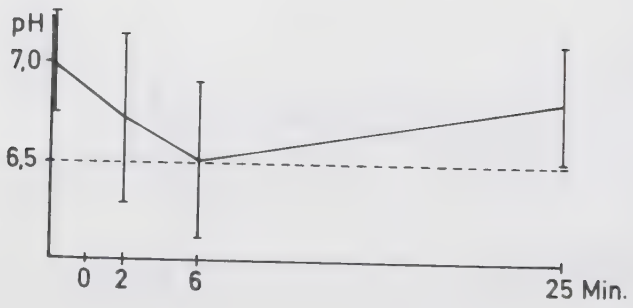
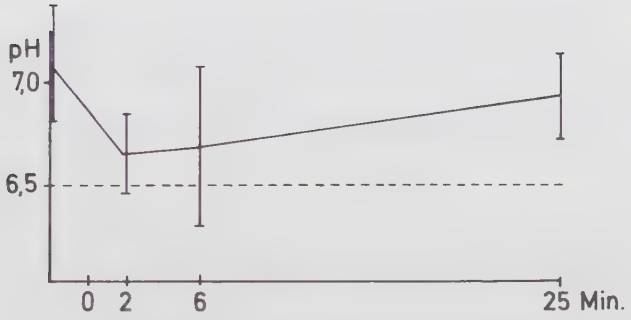


Abb. 20: Plaque-pH-Werte vor, sowie 2, 6 und 25 Minuten nach dem 2minütigen Kauen von 50 g Käsebrötchen. Dargestellt sind die Mittelwerte mit Standardabweichung von 6 Probanden.



3. 3 VERSCHIEDENE MÖGLICHKEITEN DER AUSWERTUNG DER ERGEBNISSE BZW. DER DIAGRAMME

Als erste Möglichkeit, die Säurebildung in den Plaques zu vergleichen, kommt das Einordnen der Testsubstrate nach dem erreichten pH-Minimum in Frage.

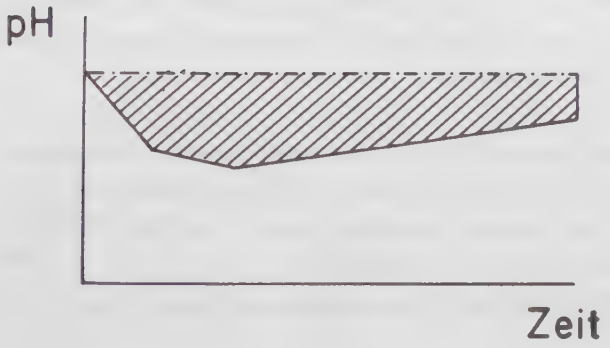
Auf dem letzten Rang finden wir folglich Süßigkeit D, die den stärksten pH-Abfall bewirkt (Abb. 12). Die Säurebildung nach dem Kauen von Käsebrötchen war am geringsten. Es nimmt also nach dieser Einteilung den ersten Platz ein. Tabelle 14 (Spalte a) gibt über die Rangfolge der einzelnen Testspeisen Auskunft.
Rang sieben bis zwölf wird von den Süßigkeiten belegt. Der Apfel auf Platz 6 weist einen nur geringfügig weniger starken pH-Abfall als die Testsubstanz A auf.
Die pH-Minima der übrigen fünf Nahrungsmittel liegen auffallend höher.

Unter der Berücksichtigung, daß die Ausgangs-pH-Werte in den einzelnen Diagrammen differieren, kann man die Testsubstrate anhand der absoluten pH-Abfälle vergleichen. Hierbei interessiert also nicht das erreichte pH-Minimum, sondern die Differenz zwischen dem Ausgangswert und dem Minimum. Die daraus resultierende Reihenfolge ist ebenfalls aus der Tabelle 14 (Spalte b) ersichtlich.

Gravierende Unterschiede hinsichtlich der Ränge der Eßwaren im Vergleich zur Spalte a der Tabelle 14 sind nicht festzustellen.

In Anlehnung an eine Arbeit von Edgar [5] wurde zur Beurteilung der Azidogenität die Fläche eines jeden Diagrammes berechnet, welche die ermittelte Kurve mit dem Ausgangswert umschreibt (Abb. 21).

Abb. 21: Darstellung derjenigen Fläche, die mit der Summe aller pH-Werte eng korreliert ist.



Diese Fläche ist nach Edgar mit der Summe aller pH-Werte eng korreliert und kann als Ausdruck für die Dauer und Stärke des pH-Abfalles angesehen werden. Mit Hilfe dieser Ergebnisse lassen sich die Eßwaren ebenfalls einordnen: Eine große Fläche bedeutet einen hohen Rang und umgekehrt (Tab. 14, Spalte c). Diese Rangordnung weicht sehr stark von den beiden vorangegangenen ab. Es ist bemerkenswert, daß nach dieser Methode das Eibrötchen als kariogen (Rang 8) anzusehen ist.

Eine Abwandlung dieser Methode nach Edgar ist die Berechnung derjenigen Fläche in den Diagrammen, welche durch die ermittelte Kurve und die Gerade bei pH 6,5 begrenzt wird (siehe die schraffierten Flächen der Abbildungen 9 bis 15). Hierbei können natürlich nur die sieben Eßwaren berücksichtigt werden, die ein pH-Minimum unter 6,5 aufweisen (Tab. 14, Spalte d).
Die Speisen, deren niedrigster pH-Wert über 6,5 liegt, nehmen die Plätze 1 bis 5 ein. Folglich beginnt diese Rangliste mit dem Apfel auf Rang 6.

Diese Einteilung weist prinzipiell keine allzu großen Unterschiede zu den Spalten a und b der Tabelle 14 auf. Die meisten Speisen differieren nur um ein bis zwei Ränge.

Die Spalte c der Tabelle 14 zeigt große Abweichungen zu den anderen drei Rangfolgen. Hier ist die klare Einteilung - die Nahrungsmittel auf den ersten Plätzen, die Süßigkeiten auf den letzten -, wie wir sie in den Spalten a, b und d erkennen, durchbrochen.
Testsubstrat D hat nach allen Auswertungsmethoden den Platz 12 inne.

Tab. 14: Die Wirkungen der Testsubstrate auf die Säurebildung in den Plaques.
Ein hoher Rang ist korreliert mit einer starken Azidogenität und umgekehrt. Es resultieren unterschiedliche Rangfolgen aus folgenden Beurteilungskriterien:

Spalte a: pH-Minimum
Spalte b: absoluter pH-Abfall
Spalte c: Summe aller pH-Werte
Spalte d: Summe aller pH-Werte unter 6,5

Weitere Erläuterungen finden sich im Text.

Testsubstrat	a	b	c	d
Käsebrötchen	1	3	5	-
Joghurt	2	1	1	-
Milch	3	2	2	-
Eibrötchen	4	5	8	-
Wurstbrötchen	5	4	4	-
Apfel	6	6	3	6
A	7	7	10	8
C	8	8	11	9
F	9	9	6	7
B	10	10	9	11
E	11	11	7	10
D	12	12	12	12

4. BESPRECHUNG DER ERGEBNISSE

Neben Versuchen, welche das pH-Verhalten in Kulturen von Mikroorganismen der Mundhöhle [13, 16, 48] sowie in Kulturen von Plaquematerial [17, 31, 14] untersucht haben, spielen die Plaque-pH-Messungen eine wichtige Rolle, um die Wirkung von Nahrungsmitteln auf die Säurebildung in den Plaques zu eruieren.

Das Wesentliche bei den Plaque-pH-Messungen ist die Zuverlässigkeit der Probanden. Es muß gewährleistet sein, daß sich jeder Teilnehmer peinlichst an die geforderten Verhaltensmaßregeln hält. Schon kleine Unachtsamkeiten - sei es ein versehentliches Zähneputzen während der Phase des Plaquewachstums oder ein kleiner Imbiß in der Zeit der zweistündigen Nahrungskarenz vor jedem Versuch - führt zu ganz anderen Ergebnissen. Ein weiteres Problem ist die geforderte Dauer der Enthaltsamkeit von der Mundhygiene. Es ist die Bildung einer möglichst ausgereiften Plaque anzustreben, was nach Mühlemann [43] ungefähr sieben Tage in Anspruch nimmt. Um zwölf Versuche für die Probanden zumutbar zu gestalten, beschränkte man sich auf eine Plaque, die zwei Tage alt war. Daher wurde in Kauf genommen, daß der pH-Abfall nach dem Verzehr der Testsubstrate nicht so drastisch war, wie er bei einer älteren Plaque gewesen wäre [20], da diese metabolisch aktiver ist.
Die jüngere Plaque bildet weniger Säure und der pH-Wert wird vom Speichelpuffer und dem pH der Testdiät stärker beeinflußt [28].

Ein geringerer pH-Abfall könnte auch wegen einer sehr guten Mundhygiene der Probanden unter normalen Bedingungen gegeben sein [50] .

Imfeld [27] faßt die wichtigsten Faktoren, die den Plaque-pH beeinflussen, zusammen:

a) Die Gesamtsumme aller vergärbaren Speisekohlenhydrate

im Speichel (diese Summe wird bestimmt durch die Zusammenstellung und Löslichkeit der konsumierten Speise).

b) Die Permeabilität der Plaques für Kohlenhydrate (sie ist abhängig vom Alter der Plaques, den physikochemischen Eigenschaften der Kohlenhydrate wie Molekulargewicht, Löslichkeit und Diffusionsrate).

c) Die Pufferaktivität der Umgebung der Plaques (diese hängt davon ab, ob stimulierter oder unstimulierter Speichel vorhanden ist und wird ebenfalls von puffernden Bestandteilen der Diät beeinflußt).

d) Die Dauer der Anwesenheit von Kohlenhydraten (oral clearance). Sie ist abhängig von Kaugewohnheiten, physikochemischen Eigenschaften (Klebrigkeit) und der Speichelfließrate.

e) Die Vergärungsrate (manche Kohlenhydrate werden von den Plaquebakterien langsam metabolisiert, andere schnell).

Die unter den beschriebenen Bedingungen durchgeführten Versuche brachten Ergebnisse, die einen ausreichenden pH-Abfall zeigten, um Vergleiche zwischen der Säurebildung nach dem Verzehr verschiedener Nahrungsmittel und Süßigkeiten anzustellen. Die pH-Werte ergaben Diagramme (Abb. 9 - 20), wie sie schon Stephan beschrieben hat [54] . Die Werte der kohlenhydratfreien Plaque, die am Anfang eines jeden Experimentes gemessen wurden, sind alle im Bereich von pH 7 angesiedelt. Das pH-Minimum war entweder zwei oder sechs Minuten nach Beendigung des Kauvorganges erreicht.

Beim Betrachten der Diagramme fällt sofort auf, daß das pH-Minimum aller sechs getesteten Süßigkeiten und des Apfels den Wert 6,5 unterschreiten. Diese Grenze von pH 6,5 wurde immer erwähnt und ist in den Diagrammen (Abb. 9 - 20) dargestellt, da nach Imfeld [27] ein auf die hier beschriebene Art und Weise gemessener pH-Wert von 6,5 etwa einem Wert von 5,7 entspricht, der

mit Hilfe der Interdentalplaque-pH-Messung in vivo ermittelt wurde. Dieser pH 5,7 wiederum ist die Grenze, mittels derer nach den Vorschriften des Eidgenössischen Gesundheitsamtes der Schweiz "zahnschonende" von "zahnschädigenden" Eßwaren getrennt werden [15].

Schon in der Einleitung wurde darauf hingewiesen, daß derjenige pH-Wert, bei dem die Schmelzdemineralisierung beginnt, vom Kalziumphosphatgehalt des mit Bikarbonat gepufferten Speichels bestimmt wird. Danach kann es bei Vorliegen eines untersättigten Speichels dazu kommen, daß der "kritische pH" schon bei 6,5 liegt.

Der pH-Wert von 5,7 wird in dieser Arbeit dennoch berücksichtigt, weil durch das Kauen für die Dauer von zwei Minuten ein übersättigter Reizspeichel vorlag. Das gilt ebenfalls für Milch und Joghurt, mit denen zwei Minuten lang der Mund gespült wurde, denn die Durchführung der Mundspülungen war so intensiv, daß auch hier durch die Muskelkontraktionen mit einem stimulierten Speichel gerechnet werden kann.

Nach Ablauf von 25 Minuten waren die pH-Werte den Ausgangswerten näher gekommen, die Werte der Süßigkeiten weniger als die der Nahrungsmittel. Dieser Anstieg des Plaque-pH-Wertes steht im Einklang mit den Untersuchungen von Edgar et al. [5] : 30 Minuten nach dem Kauen einer Testspeise war die Menge an Kohlenhydraten im Mund nur wenig größer als vor dem Verzehr. Säuremessungen in Plaques menschlicher Zähne haben gezeigt, daß die bei Mundspülungen mit Glukoselösungen sofort einsetzende Säureproduktion nach einer halben Stunde bereits wieder aufgehört hatte, weil das Substrat aufgebraucht bzw. beseitigt war [56].

Man nimmt an, daß Speisen, die einen beträchtlichen pH-Abfall

über einen längeren Zeitraum verursachen in stärkerem Maße kariogen sind als solche, die ein geringeres oder ein nur kurzdauerndes Absinken des pH-Wertes zur Folge haben [9].

Aus diesem Grund liegt der Schluß nahe, die Azidogenität der Testdiäten nicht nur mittels des erreichten pH-Minimums zu beurteilen, wie es die meisten Autoren von Plaque-pH-Messungen praktizieren. Man sollte die Dauer des pH-Abfalles mit in das Kalkül ziehen. Dazu ein Beispiel:

Unter dem Besichtspunkt des erreichten pH-Minimums rangiert der Apfel auf Rang 6. Er sinkt beträchtlich unter den pH 6,5. Auffallend ist aber, daß der Plaque-pH sehr schnell wieder über 6,5 liegt und im weiteren Verlauf ebenfalls schnell ansteigt. Die auf den Schmelz einwirkende Säureattacke ist also nur kurzfristig. Hier scheint zur Beurteilung der Dauer und der Stärke des pH-Abfalles die Summe aller pH-Werte, die während des Versuchs zu messen sind, geeigneter zu sein.

Nun geht aus der Spalte c der Tabelle 14 hervor, daß auf diese Weise der Apfel auf dem dritten Platz zu finden ist. Somit liegt der Apfel, was die Azidogenität betrifft, im Bereich der anderen Nahrungsmittel, wogegen er anhand des pH-Minimums mehr bei den Süßigkeiten anzutreffen ist. Dieser relativ starke, aber kurze pH-Abfall, der durch den Apfel verursacht wird, geht natürlich zu einem gewissen Teil zu Lasten der Säuren, die im Saft des Apfels enthalten sind. Der niedrige pH des Apfels erzeugt andererseits einen erhöhten Speichelfluß [3, 4], der die Beseitigung der Nahrungsreste aus der Mundhöhle beschleunigt. Die Reinigungswirkung des Apfels durch seinen faserigen Aufbau sei hier nur am Rande erwähnt. Es ist aber keineswegs sicher, ob der neutralisierende Effekt des gesteigerten Speichelflusses fähig ist, den niedrigen pH-Wert zu übersteigen. Es kommt noch hinzu, daß die Säuren, welche durch die Vergärung des im Apfel enthaltenen Zuckers gebildet werden, ebenfalls neutralisiert werden müssen [50].

Die Werte der Spalten b und d in Tabelle 14 wurden noch zusätzlich erstellt, um nach weiteren Möglichkeiten für die Beurteilung von Plaque-pH-Messungen zu suchen. Da diese beiden Rangfolgen für alle Werte nicht schwerwiegend von der Spalte a abweichen, ist es nicht nötig, sie in die Diskussion mit einzubeziehen. Es sei lediglich festgestellt, daß durch sie die Ergebnisse der Spalte a bekräftigt werden. Das gilt auch für die Summe der pH-Werte unter 6,5 (Spalte d). Die entsprechende Fläche, die ja eng mit dem Wert der Summe der Plaque-pH-Werte korreliert ist, scheint stärker vom erreichten pH-Minimum als von der Geschwindigkeit des pH-Anstieges abzuhängen.
Folglich sagen die Werte der Spalten b und d nichts über die Dauer des pH-Abfalles aus.
Edgar [5] weist darauf hin, daß die Betrachtung von pH-Minimum und Summe aller pH-Werte hinsichtlich der Azidogenität die Schwierigkeit der Beurteilung jeder "Stephanskurve" verdeutlicht.

Die sechs Süßwaren wiesen, was das pH-Minimum betrifft, große Unterschiede auf. Es fällt aber schwer, irgendwelche Zusammenhänge zu den jeweiligen Bestandteilen oder den physikochemischen Eigenschaften zu sehen.
Auffallend ist, daß das Substrat D nach allen vier Beurteilungsmodi (Tabelle 14) den Rang 12 einnimmt. Die Bestandteile dieser Süßigkeiten geben aber keinen Hinweis auf diese hohe Azidogenität.
Diese Unterschiede in der Säurebildung sind begründet durch:

a) unterschiedliche Zuckerkonzentrationen
b) unterschiedliche physikochemische Eigenschaften
c) unterschiedliche Bestandteile.

Der Verfasser dieser Arbeit verfügt nicht über genaue Angaben zu den Punkten a bis c.

Zu a): Der pH-Abfall in den Plaques wird mit steigender Saccharosekonzentration immer ausgeprägter [9, 44] .

Zu b) und c): Die Kariesgefährdung durch klebrige, weiche, die Selbstreinigung nicht fördernde Kohlenhydrate ist größer als durch solche von harter Konsistenz. Mono- und Disaccharide sind sehr viel stärker kariogen als Polysaccharide, die erst nach Hydrolyse und enzymatischer Spaltung von den Mundmikroorganismen abgebaut werden können [35] .
In Flüssigkeiten gelöste Kohlenhydrate sind wesentlich weniger kariogen als die entsprechende Menge in festen Speisen [23, 38] .

Die pH-Minima der Nahrungsmittel zeigen - mit Ausnahme des Apfels -, daß sie eine relativ geringere Säurebildung verursachen als die Süßigkeiten. Der Vergleich der jeweils niedrigsten pH-Werte mit der Summe aller Plaque-pH-Werte (Spalte a und c der Tabelle 14) ergibt hier teilweise große Unterschiede der Rangfolgen. Auffallend ist das Eibrötchen, welches in Spalte a den Platz 4 einnimmt. In der Spalte c steht es aber auf dem 8. Rang. Auch für das Käsebrötchen differiert die Rangfolge beträchtlich.
Man sieht, daß es ebenfalls schwer ist, die Azidogenität der Nahrungsmittel zu beurteilen, oder gar eine Abstufung zu treffen.
Es erscheint sinnvoll, diese 5 Speisen nochmals in zwei Gruppen zu unterteilen. Die erste Gruppe besteht aus den drei verschieden belegten Brötchen, in der zweiten sind Milch und Joghurt anzutreffen.

Der wichtigste diätetische Antagonist der Kohlenhydrate im lokalen Kräftespiel des kariösen Angriffs ist der Gehalt und die Art der Fette, die in einer Diät enthalten sind [35] . Der Zusatz von Fetten setzt die Kariogenität zuckerreicher Speisen herab. Der Zucker geht in fettfreien Diäten schneller in Lösung als in fetthaltigen [24] . Diese Schutzwirkung des Fettes könnte nach Rosebury und Karshan [49] durch das Einhüllen der Kohlenhydratteilchen

und Bildung eines Filmes mit wasserabstoßenden Eigenschaften begründet sein: Das zum fermentativen Abbau notwendige Vordringen von Bakterien - und Speichelenzymen zu den Kohlenhydraten wird verhindert. Daraus resultiert eine verminderte Säurebildung. Zum zweiten schützt der Fettfilm den Schmelz teilweise gegen den Angriff der sauren Endprodukte des Kohlenhydratabbaues.

Die Brötchen waren alle mit einem Butteraufstrich versehen. Der Käse und die Wurst verfügten über einen Fettgehalt, der sicher weit über dem der hartgekochten Eier lag. Trotzdem ist das Eibrötchen in der Spalte a der Tabelle 14 vor dem Wurstbrötchen auf Platz 4 zu finden. In der Spalte c steht das Eibrötchen auf Rang 8. Ein Artefakt ist nicht auszuschließen. Der Fettgehalt des Eies ist zwar niedriger als derjenige von Wurst und Käse, dennoch müßte der Butteraufstrich eine genügende Schutzwirkung mit sich bringen, denn Haldi und Wynn [25] zeigten anhand von Tierversuchen, daß bei einem Fettgehalt von nur 8 Prozent in einer proteinreichen Diät die Erhöhung des Zuckergehaltes von 22 auf 64 Prozent keinen wesentlichen Kariesanstieg mit sich brachte.
Die Wirkung von Käse ist schon vielfach untersucht worden. Graf [19] stellte fest, daß Käse alleine keinen pH-Abfall verursacht. In Rattenexperimenten reduzierte der Zusatz von Emmentaler Käse die Kariesstärke, und Weißbrot bzw. Walliser Brot mit Emmentaler Käse oder mit Butter und Käse stellten sich als nicht kariogen heraus [35].
Eine potentielle Anti-Karies-Eigenschaft des Käses durch ein Anheben der Kalzium-Konzentration in den Plaques wurde diskutiert [50] .

Aus der Tabelle 14 geht hervor, daß Milch und Joghurt nur eine geringe Säurebildung induzieren. Man findet nahezu Übereinstimmung in allen drei Spalten. Auch Frostell [10] weist darauf hin, daß, wenn überhaupt, Milch leicht kariogen ist. Für Joghurt, ein Milchprodukt,

scheint das gleiche zu gelten. Nach Jenkins und Ferguson [30] hat Milch einen schützenden Effekt wegen des hohen Kalzium- und Phosphatgehaltes und wegen der Proteinabsorption auf der Schmelzoberfläche. Shaw, Ensfield und Wollmann [52] sprechen von einer lokalen Hemmwirkung, die durch den Fettgehalt bedingt ist.
Der Verfasser geht davon aus, daß Milch und Joghurt unter normalen Bedingungen schnell geschluckt werden und nicht für die Dauer von zwei Minuten ununterbrochen die Plaques umspülen. Diese kürzere Expositionszeit bedingt auch eine niedrigere Azidogenität.

Die Ergebnisse der Plaque-pH-Messungen sagen in erster Linie etwas über die Azidogenität der Nahrungsmittel und Süßigkeiten in den Plaques aus und nicht über die Kariogenität im klinischen Sinn [5]. Sind die auf diese Weise ermittelten Ergebnisse relevant für die Beurteilung der kariogenen Eigenschaften von Speisen? Die Plaque-pH-Messungen geben Aufschluß darüber, ob eine Diät einen intensiven initialen Säureangriff provoziert oder nicht. Wenn aber die Säuretheorie der Kariesätiologie zutrifft, sind Angaben über die Azidogenität von Nahrungsmitteln und Süßigkeiten informativ [50] .

Die Kariogenität wird auch von einigen anderen wichtigen Eigenschaften der Speisen bestimmt:

1. Die Kapazität, die Bildung von Plaques zu stimulieren.
2. Die Implantation von kariesinduzierenden Mikroorganismen.
3. Die Tendenz, sich auf oder/und zwischen den Zähnen zu akkumulieren.
4. Der Gehalt an karieshemmenden oder die Löslichkeit des Schmelzes herabsetzenden Substanzen [9] .

Die Plaque-pH-Messungen lassen also zu, mit einer gewissen Sicherheit von einer bestimmten Azidogenität zu sprechen. Den Begriff der Kariogenität kann man strenggenommen eigentlich erst im Anschluß an klinische Versuche oder nach Tierversuchen anwenden, also dann, wenn die durch Säurebildung induzierte Karies quantitativ

erfaßbar ist. Wie schon erwähnt, besteht sicherlich ein Zusammenhang zwischen Azidogenität und Kariogenität.

Die angegebene Methode der Messung des Plaque-pH nach dem Kauen von Nahrungsmitteln und Süßigkeiten gibt nicht den genauen pH-Wert eines speziellen Punktes auf der Zahnoberfläche oder in der Mundhöhle wieder. Die Ergebnisse geben folglich eine Art Mittelwert an, der zeigt, was in den Plaques vor sich geht. Das ist alleine deshalb schon der Fall, da es nicht möglich ist, für 4 Messungen Plaquematerial von jeweils gleichen Punkten zu sammeln. Die bakterielle Zusammensetzung und somit auch die Stoffwechselleistung von Plaques verschiedener Lokalisation ist nicht die gleiche [34, 21]. Schon die Plaque, die von einem einzigen Zahn stammt, zeigt eine Vielseitigkeit im Saccharosemetabolismus [40].

Als Nachteil dieser Methode ist anzugeben, daß bei der Plaqueentnahme die Struktur der Plaques zerstört wird. Hieraus resultieren veränderte Diffusionsverhältnisse. Darüberhinaus kann es zu Artefakten kommen durch Kontakt mit Speichel bei der Entnahme der Plaques. Nahrungsreste sind hier ebenfalls zu erwähnen [28].
Durch die zum Messen nötige Verdünnung der Plaques von 1:50 bis 1:100 liegen die gemessenen pH-Werte höher als die tatsächlich in den Plaques existierenden.
Ferner ist eine standardisierte quantitative Plaqueentnahme nicht möglich [15].
Als letzter wesentlicher Nachteil sei angeführt, daß mit dieser Methode die pH-Werte in den Fissuren und an den Approximalkontakten nicht bestimmt werden können. Die Messung an diesen beiden Stellen wäre deshalb von Interesse, da die Interdentalplaque der Mehrzahl der Menschen mit ungenügender Mundpflege wahrscheinlich immer älter als 24 Stunden ist [28].

Andere Methoden der Plaque-pH-Messung, wie sie in der Einleitung erwähnt wurden, sind auch mit Nachteilen behaftet [15], so daß man abschließend sagen kann: Im Moment benötigt man, um die Kariogenität von Nahrungsmitteln, Süßigkeiten oder Saccharose-Austauschstoffen beurteilen zu können, Tierversuche, klinische Versuche und Plaque-pH-Messungen nach verschiedenen Methoden. Die Ergebnisse aus allen Experimenten liefern eine möglichst genaue Vorstellung über die Kariogenität von Substanzen.

Die Ergebnisse der Versuche, die hier beschrieben worden sind, empfehlen als Zwischenmahlzeiten die getesteten Nahrungsmittel. Alle getesteten Süßigkeiten sind strikt abzulehnen, wenn im Anschluß an ihren Genuß die Zähne nicht geputzt werden können. Der Apfel liegt, was die Kariogenität anbelangt, genau auf der Grenze zu den Süßigkeiten. Es ist deshalb ratsam, ihn nicht als gefahrlos für die Zähne anzusehen.

5. ZUSAMMENFASSUNG

1. Plaque-pH-Messungen an sechs jugendlichen Probanden nach zweiminütigem Kauen von sechs unterschiedlichen Süßigkeiten und sechs verschiedenen Nahrungsmitteln zeigten eine unterschiedliche Azidogenität der Testdiäten. Die Messungen vor, sowie 2, 6 und 25 Minuten nach dem Kauen der Testspeisen wurden an 2 Tage alten, von der Zahnoberfläche mit Hilfe feiner Küretten abgenommenen Plaqueproben durchgeführt.
Der pH-Wert des mittels eines Rüttlers in 0,2 ml destillierten Wassers homogenisierten Plaquematerials wurde mit einer Glaselektrode der Firma Ingold (405 - M 3) gemessen.

2. Die Süßigkeiten erwiesen sich - nach verschiedenen Auswertungsmethoden - als die stärksten Säurebildner, wohingegen die anderen Nahrungsmittel weniger azidogen sind.
Lediglich der Apfel ist hier auszuschließen. Er nimmt hinsichtlich seiner Gefährlichkeit für die Zähne eine Zwischenstellung ein.
Es konnte damit erneut bestätigt werden, daß Süßwaren als Zwischenmahlzeiten ohne darauffolgende Mundhygiene abzulehnen sind.

3. Die geringere Kariogenität der Nahrungsmittel wird sowohl dem Fettgehalt, als auch dem geringeren Gehalt an Zuckern zugeschrieben.

Ich möchte mich bei allen bedanken, die mir durch Anregungen oder Unterstützung beim Erstellen dieser Arbeit behilflich gewesen sind.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. F. Gehring für die Überlassung des Themas sowie für die Übernahme des Referates.

Herrn Professor Dr. R. Naujoks möchte ich für die freundliche Übernahme des Korreferates danken.

6. LITERATURVERZEICHNIS

1 BRAMSTEDT, F.; BÜTTNER, W.; GEHRING, F.; LATSCH, G.:
"Kariesforschung"
Verlag Steiner, Wiesbaden 1970

2 BRUNNER, K. et al.:
"Multi-Channel Oral Wire Telemetry"
Helv. Odont. Acta 18/83/1974

3 CLARK, R. et al.:
"Removal Of Carbohydrate Debris From The Teeth By Salivary Stimulation"
Brit. Dent. J. 111/244/1961

4 COBB, A. B. et al.:
"A Method Of Measuring Tooth-cleaning"
Brit. Dent. J. 111/249/1961

5 EDGAR, W.M. et al.:
"Acid Production In Plaques After Eating Snacks Modifying Factors In Food"
JADA 90/418/1975

6 ERIKSON, Y.:
"Enamel-Apatite Solubility. Investigations Into The Calcium-Phosphate Equilibrium Between Enamel And Saliva And Its Relation To Dental Caries"
Acta Odont. Scand. Suppl. 3/1949

7 FROSTELL, G.:
"A New Type Of Presumably Low-Cariogenic Sweets"
Sv. Tandläk. Tidn. 55/529/1963

8 FROSTELL, G.:
"Quantitative Determinations Of The Acid Production From Different Carbohydrates In Suspensions Of Dental Plaque Material"
Acta Odont. Scand. 22/457/1964

9 FROSTELL, G.:
"Dental Plaque pH In Relation To Intake Of Carbohydrate Products"
Acta Odont. Scand. 27/53/1969

10 FROSTELL, G.:
"Effects Of Milk, Fruit Juices And Sweetened Beverages On The pH Of Dental Plaques"
Acta Odont. Scand. 28/609/1970

11 FROSTELL, G.:
"A Method For Evaluation Of Acid Potentialities Of Foods"
Acta Odont. Scand. 28/599/1970

12 FROSTELL, G.:
"Effects Of Mouth Rinses With Sucrose, Glucose, Fructose, Lactose, Sorbitol And Lycasin On The pH Of Dental Plaque"
Odont. Revy 24 /217/1973

13 GEHRING, F.:
"Saccharose und Zuckeraustauschstoffe im mikrobiologischen Test"
Dtsch. zahnärztl. Z. 26/1162/1971

14 GEHRING, F.:
"Mikrobiologische Aspekte zur Kariogenität von Zuckern und Zuckeraustauschstoffen"
Dtsch. zahnärztl. Z. 29/769/1974

15 GEHRING, F.:
"Saccharose-Austauschstoffe und ihre Bedeutung für die Kariesprophylaxe, unter besonderer Berücksichtigung mikrobiologischer Aspekte"
Kariesprophylaxe 1/77/1979

16 GEHRING, F. et al.:
"Turku Sugar Studies IV. An Intermediate Report On The Differentiation Of Polysaccharide Forming Streptococci"
Acta Odont. Scand. 32/435/1974

17 GILMOUR, M.N.; POOLE, A.E.:
"The Fermentation Capabilities Of Dental Plaque"
Caries Res. 1/247/1967

18 GRAF, H.:
"Telemetrie des pH der Interdentalplaque"
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 79/146/1969

19 GRAF, H.:
"The Glycolytic Activity Of Plaque And Its Relation To Hard Tissues Pathology-Recent Findings From Intraoral pH Telemetry Research"
Inter. Dent. J. 20/426/1970

20 GRAF, H.; MÜHLEMANN, H.R.:
"Telemetry Of Plaque pH From Interdental Area"
Helv. Odont. Acta 10/94/1966

21 GUGGENHEIM, B.; REGOLATI, B.:
"Interrelation Of Eating Pattern, Plaque Formation And Caries Incidence In 5 Stocks Of Rats"
Helv. Odont. Acta 16/1/1972

22 GUSTAFSON, B.E. et al.:
"The Vipeholm Dental Caries Study"
Acta Odont. Scand. 11/195/1954

23 GUSTAFSON, G. et al.:
"Experimental Dental Caries In Golden Hamsters V.
The Cariogenic Effect Of Different Carbohydrates
In Dry And Moist Diets"
Odont. Tidskr. 63/506/1955

24 GUSTAFSON, G. et al.:
"Experimental Dental Caries In Golden Hamsters IV.
Experiments With Various Fats In A Cariogenic Diet"
Acta Odont. Scand. 13/75/1955

25 HALDI, J.; WYNN, W.:
"Cariogenicity Of Sugar Containing Diets"
J. Nutrition 46/425/1952

26 HARTLESS, R. L.; WASDELL, M.R.:
"The Metabolism Of The Oral Flora.
6. Preliminary Observations On A Water Soluble
Factor In Saliva Which Enhences The Respiratory
And Glycolytic Activity Of The Salivary Flora"
Brit. Dent. J. 99/334/1955

27 IMFED, Th.:
"Evaluation Of The Cariogenicity Of Confectionery
By Intra-Oral Wire-Telemetry"
Helv. Odont. Acta 21 - 1/437/1977

28 IMFELD, Th.; HIRSCH, R.S.; MÜHLEMANN, H.R.:
"Telemetric Recordings Of Interdental Plaque pH
During Different Meal Patterns"
Brit. Dent. J. 144/40/1978

29 JENKINS, G.N.; KLEINBERG, G.J.:
"Studies In The pH Of Plaque In Interproximal Areas After Eating Sweets And Starchy Foods"
J. Dent. Res. 35/964/1956

30 JENKINS, G.N.; FERGUSON, D.B.:
"Milk And Dental Caries"
Brit. Dent. J. 120/472/1966

31 KARLE, E.; GEHRING, F.:
"Wirkung der Zuckeraustauschstoffe Fructose, Sorbit und Xylit auf Kariesbefall und Plaqueflora der Ratte"
Dtsch. zahnärztl. Z. 30/356/1975

32 KLEINBERG, I.:
"Studies On Dental Plaque.
I. The Effect Of Different Concentrations Of Glucose On The pH Of Dental Plaque In Vivo"
J. Dent. Res. 40/1087/1961

33 KNAPPWOST, A.:
"Grundlagen der Resistenztheorie der Karies mit einem Beitrag über die karieshemmende Wirkung peroraler Fluorgaben"
Dtsch. zahnärztl. Z. 7/670/1952

34 KÖNIG, K.G. et al.:
"Modifications Of The Oral Bacterial Flora And Their Influence On Dental Caries In The Rat. - 11. Inoculation Of A Cariogenic Streptococcus And Its Effect In Relation To Varying Time Of Depression Of The Indigenous Flora"
Helv. Odont. Acta 9/130/1965

35 KÖNIG, K.G.:
"Möglichkeiten der Kariesprophylaxe beim Menschen und ihre Untersuchung im kurzfristigen Rattenexperiment"
Verlag Hans Huber, Bern und Stuttgart 1966

36 KÖNIG, K.G.:
"Kariesprophylaxe 1"
Praxis der Zahnheilkunde
Verlag Urban und Schwarzenberg, München
A 8/1968

37 KRÖNCKE, A.:
"Kariesprophylaktisch wirksame Faktoren"
Hrsg. von H.J. Gülzow
Verein für Zahnhygiene, Frankfurt 1970

38 LUDWIG, T.G.; BIBBY, B.G.:
"Acid Production From Different Carbohydrate Foods In Plaque And Saliva"
J. Dent. Res. 36/56/1957

39 MILLER, W.D.:
"Die Mikroorganismen der Mundhöhle"
Verlag Thieme, Leipzig 1889

40 MINAH, G.E.; LOESCHE, W.J.:
"Development Of Methods To Analize Sucrose Metabolism By Small Dental Plaque Suspensions; In Stiles, Loesche And O'Brien, Proc. Microbial Aspects Of Dental Caries; Microbiol. Abstr. 2: Suppl. pp 491/1976

41 MÖRCH, Th.:
"The Acid Potentiality Of Carbohydrates"
Acta Odont. Scand. 19/355/1961

42 MÜHLEMANN, H.R.:
"Zuckerfreie, zahnschonenede und nichtkariogene Bonbons und Süßigkeiten"
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. 79/117/1969

43 MÜHLEMANN, H.R.; RATEITSCHAK, K.H.; RENGGLI, H.H.:
"Parodontology"
Georg Thieme Verlag Stuttgart 1975

44 MÜHLEMANN, H.R.; De BOEVER, J.:
"Radiotelemetry Of The pH Of Interdental Areas Exposed To Various Carbohydrates"
McHugh, Dental Plaque
Livingstone, London 179/1969

45 MUNTZ, A.J.:
"Production Of Acids From Glucose By Dental Plaque Material"
J. Biol. Chem. 148/225/1943

46 NAUJOKS, R.:
"Ursachen der Zahnkaries"
Praxis der Zahnheilkunde, Verlag Urban und Schwarzenberg, München 1972

47 NAUJOKS, R.:
"Zur Forschung und Wissenschaft in der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde"
Quintessenz 3/249/1977

48 ROBRISH, S.A.; KRICHEVSKY, M.J.:
"Acid Production From Glucose And Sucrose
By Growing Cultures Of Caries-Conductive
Streptococci"
J. Dent Res. 51/734/1972

49 ROSEBURY, T.; KARSHAN, M.:
"Susceptibility To Dental Caries In The Rat.
VIII. Further Studies Of The Influence Of
Vitamin D And Of Fats And Fatty Oils"
J. Dent. Res. 18/189/1938

50 RUGG-GUNN, A.J. et al.:
"The Effect Of Different Meal Patterns
Upon Plaque pH In Human Subjects"
Brit. Dent. J. 139/351/1975

51 SAUERWEIN, E.:
"Kariologie"
Georg Thieme Verlag Stuttgart 1974

52 SHAW, J.H.; ENSFIELD, B.J.; WOLLMANN, D.H.:
"Studies On The Relation Of Dairy Products
To Dental Caries In Caries - Susceptible Rats"
J. Nutrition 67/253/1959

53 SINGER, D.L.; KLEINBERG, J.:
"Cell Concentration And pH Of Suspended
Plaque Mixtures In Vitro"
JADR Program and Abstract of Papers No 494/1970

54 STEPHAN, R.M.:
"Changes In Hydrogen - Ion Concentration On
Tooth Surfaces And In Carious Lesions"
J. Am. Dent. Ass. 27/718/1940

55 STEPHAN, R.M.; HEMMENS, E.S.:
"Studies Of Changes In pH Produced By Pure Cultures Of Oral Micro-Organisms"
J. Dent. Res. 26/15/1947

56 STEPHAN, R.M.; MILLER, B.F.:
"The Effect Of Synthetic Detergents On pH Changes In Dental Plaques"
J. Dent. Res. 22/53/1943

57 STRALFORS, A.:
"The Bacterial Chemistry Of Dental Plaques"
Thesis, Stockholm, Schweden 1950

LEBENSLAUF

Ich, Michael Josef Willi Dillig, wurde am 10. April 1952 als erster Sohn des Ehepaares Georg und Elisabeth Dillig, geb. Petry, in Würzburg geboren.

In der Zeit von 1959 bis 1964 besuchte ich die Volksschule in Hamburg, 1964 wechselte ich in das Röntgengymnasium Würzburg über, wo ich 1973 das Abitur absolvierte.

Im Wintersemester 1973 begann ich das Studium der Zahnheilkunde an der Würzburger Universität, wo ich auch im August 1979 das Staatsexamen in diesem Fach ablegte.

Michael Dillig

Dissertationsdruck
Schmitt & Meyer

Würzburg Ludwigkai 28a Tel. 7 23 80

Dissertationsdruck
Schmitt & Meyer

Würzburg Ludwigkai 28a Tel. 7 23 80